

¿Qué son los pulsares?

Por: Juan Manuel Perea Espitia*

El gas cósmico, especialmente la materia situada entre las estrellas, emite y absorbe radiación en el dominio de las ondas de radio¹. Estas ondas pueden atravesar como la luz la atmósfera terrestre y ofrecen una posibilidad más de recibir información sobre el Universo desde la superficie de la tierra. Las ondas cósmicas de radio nos informan sobre el estado de la materia situada entre las estrellas de nuestro sistema estelar. También podemos recibir las ondas de radio emitidas por las masas gaseosas de otras galaxias y estudiarlas.

Las ondas de radio son perturbadas por la materia procedente del sol que fluye hacia fuera de él, entre los planetas, es decir, por el viento solar. Este viento imprime sobre la radiación una fluctuación temporal del mismo modo que las masas gaseosas de la atmósfera terrestre provocan un parpadeo en la luz que nos llega de las estrellas.

En los años sesenta se inició en Cambridge la construcción de un nuevo radiotelescopio para investigar las fluctuaciones provocadas por la materia interplanetaria. Los receptores estaban preparados para reconocer oscilaciones temporales rápidas de las correspondientes ondas de radio, oscilaciones que los radiotelescopios anteriores no podían percibir. En julio de 1967 el radiotelescopio estaba listo para funcionar y se iniciaron las mediciones. Se buscaban radiofuentes de emisión uniforme, cuyas señales «parpadearan» al ser observadas a través del viento solar. Un grupo de investigadores de Cambridge, bajo la dirección de Antony Hewish, iniciaron

* Profesor Programa Matemáticas y Física

Ondas de radio. Son ondas electromagnéticas que viajan en el vacío con la velocidad de la luz, 300 000 Km/Seg. Se utilizan en sistemas de comunicación como la radio y la televisión. En el espectro electromagnético se encuentran a partir de longitudes de ondas de 1 metro.

el trabajo. La doctora Jocelyn Bell encargada de dirigir el telescopio y de llevar a cabo la valoración de las cintas registradoras pudo reconocer las radiofuentes que parpadeaban en el viento solar y distinguirlas de las perturbaciones de origen terrestre. Pero en la curva de registro se observó la presencia ocasional de una determinada impureza. Su apariencia no era exactamente la de una radiofuente parpadeante, ni tampoco se parecía a una interferencia radiofónica de origen humano. Puesto que las señales se repetían cuando pasaba delante del telescopio el mismo punto del cielo, era evidente que la fuente no era de origen terrestre. Cuando se observó otra región del cielo completamente distinta, una región interferida por la intensa radiofuente casiopea A, se observó de nuevo las impurezas. La impureza apareció como una serie de impulsos separados 1,2 segundos, se habían descubierto los pulsares. Antony Hewish obtuvo en 1974 el premio nobel de física por su descubrimiento de los pulsares.

La característica de los pulsares que más sorprendió a los astrónomos fue la rapidez con que variaba la radiación. Las estrellas variables de período más breve cambian su luz en un intervalo de una hora o algo menos. De pronto los pulsares lo superaban incomprensiblemente. Al estudiar los impulsos con una mayor resolución temporal se encontró que estaban compuestos por una estructura fina la cual muestra que la emisión de radio varía en el orden de las diezmilésimas de segundo, como se ilustra en la figura 1.

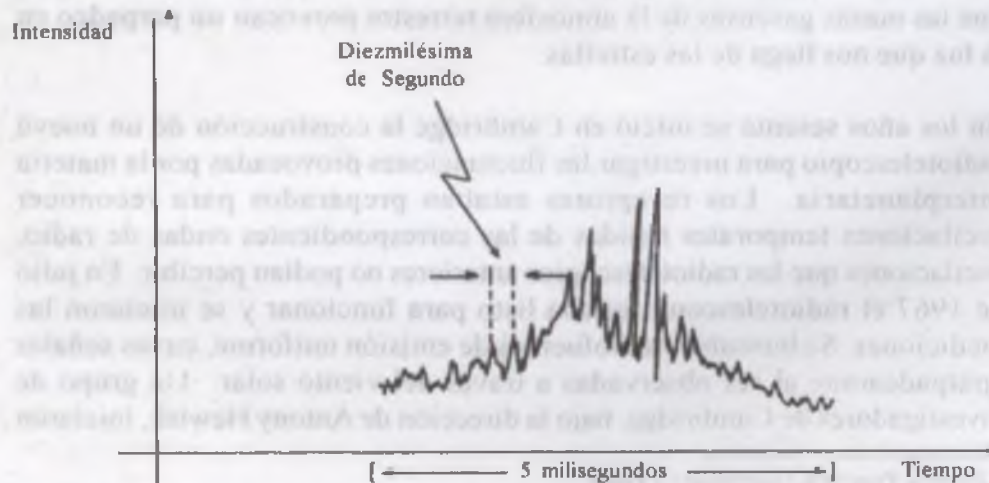


FIGURA 1.

La rapidez con que cambia la radiación dentro del impulso ofrece algunas indicaciones sobre el tamaño del espacio que envía el impulso. En la figura 2 se ilustra esta situación. Para simplificar imaginemos una esfera tan alejada de un observador que si la observa con un telescopio o a simple vista sólo se ve un punto. La esfera emite un destello luminoso durante un tiempo muy breve. Qué ve el observador?. Puesto que las distancias desde el observador a los diferentes puntos de la esfera son distintas la radiación emitida al mismo tiempo llega al ojo en tiempos distintos. Primero sólo capta la señal enviada por el punto más próximo a él, luego capta la radiación procedente de una zona anular y finalmente capta la luz que ha tardado más en llegar, es decir, la procedente del borde del disco dirigido hacia él. El ojo del observador captará aquel breve impulso de luz como un impulso difuminado, un impulso de duración mayor. Ahora, la longitud del impulso es igual al tiempo que necesita la luz para recorrer el radio de la esfera.

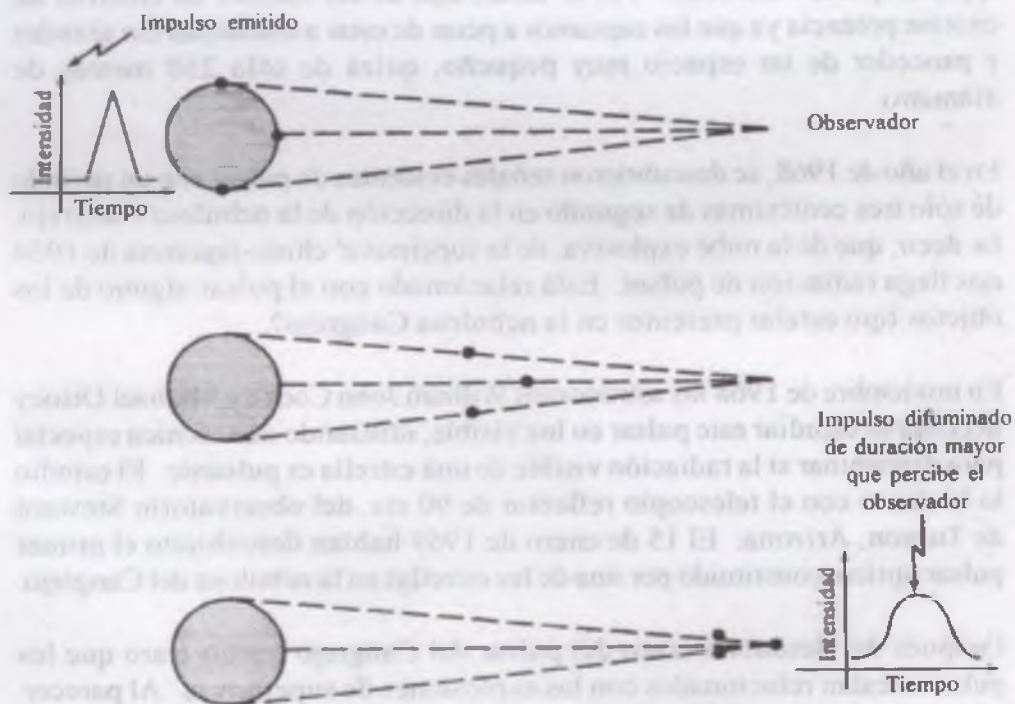


FIGURA 2

Por lo tanto, cuando una fuente de radiación presenta, por ejemplo, variaciones de intensidad de una diezmilésima de segundo, podemos deducir que la fuente no puede ser mucho mayor que el camino recorrido por la luz en este tiempo: es decir, 30 kilómetros². Las señales de pulsares nos informan, pues, sobre pequeñas regiones espaciales del Universo que emiten ondas de radio muy intensas.

Actualmente se conocen más de trescientos pulsares. Sus periodos van de varias centésimas de segundo hasta 4,3 segundos y se han obtenido variaciones de intensidad de 0,8 millonésimas de segundo indicando que la radiación procede de una región cuyo diámetro es como máximo 250 metros.

Están situados los pulsares cerca del sistema solar, o están tan alejados como las galaxias? Los astrónomos han demostrado que se encuentran entre las estrellas de nuestra vía láctea. Tienen la misma distribución en el espacio que las estrellas. Por lo tanto, han de ser fuentes de emisión de enorme potencia ya que los captamos a pesar de estar a distancias tan grandes y proceder de un espacio muy pequeño, quizá de sólo 250 metros de diámetro.

En el año de 1968, se descubrieron señales evidentes de pulsar con un periodo de sólo tres centésimas de segundo en la dirección de la nebulosa Cangrejo. Es decir, que de la nube explosiva, de la supernova³ chino-japonesa de 1054 nos llega radiación de pulsar. Está relacionado con el pulsar alguno de los objetos tipo estelar presentes en la nebulosa Cangrejo?

En noviembre de 1968 los astrónomos William John Cocke y Michael Disney decidieron estudiar este pulsar en luz visible, utilizando una técnica especial para determinar si la radiación visible de una estrella es pulsante. El estudio lo hicieron con el telescopio reflector de 90 cts. del observatorio Steward de Tucson, Arizona. El 15 de enero de 1969 habían descubierto el primer pulsar óptico, constituido por una de las estrellas en la nebulosa del Cangrejo.

Después del descubrimiento del pulsar del Cangrejo quedó claro que los pulsares están relacionados con las explosiones de supernovas. Al parecer, los restos de una estrella que ha explotado como una supernova emiten

² La velocidad de la luz en el vacío es $2,99793 \cdot 10^8$ m/seg = 300 000 Km/seg

³ Supernova. Es el colapso repentino y catastrófico de una estrella cuyas reacciones nucleares han proseguido en el campo de los núcleos pesados.

señales de pulsar. Esto se confirmó con otro pulsar que emite desde un punto del cielo donde hay unas masas gaseosas que hacen pensar en una anterior explosión de supernova. Esta explosión en la constelación Vela debió acontecer mucho antes que la de la supernova de la nebulosa Cangrejo, porque las masas gaseosas expulsadas ya no forman en el cielo una mancha compacta sino filamentos gaseosos separados que llenan un gran espacio. El periodo de este pulsar es de 0,09 segundos mayor que el del pulsar del Cangrejo, el tercer pulsar más rápido que se conoce. En 1977, ocho años después de descubrir el pulsar, se encontró el objeto visible, es decir, la estrella del pulsar de Vela.

No se conocen rastros en luz visible de ningún otro pulsar. El origen de un pulsar se debe a la explosión de una estrella en forma de supernova. Al principio el periodo es corto, más breve que el del pulsar del Cangrejo, y la estrella no sólo emite impulsos de radio, sino también destellos luminosos. En el curso del tiempo el ritmo de los impulsos se va alargando. En menos de mil años el periodo se ha alargado hasta alcanzar el del pulsar del Cangrejo, y después el de pulsar de Vela. A medida que se alarga el periodo de pulsación, la estrella se debilita en luz visible. Cuando su periodo alcanza una magnitud de segundos o más, los destellos ópticos han desaparecido desde hace tiempo, pero la estrella todavía se hace notar con sus ondas de radio. Esto explica por qué sólo se han podido observar dos pulsares luminosos de periodos muy breves. Son pulsares muy jóvenes, y en ellos pueden reconocerse todavía los restos de la nube explosiva. Los pulsares más antiguos perdieron desde hace tiempo su luminosidad en el dominio visible.

Pero qué son los pulsares? Sabemos ya que las regiones del espacio de donde procede la radiación pulsante han de ser muy pequeñas. Por tanto qué procesos pueden tener lugar en un pequeño espacio durante tanto tiempo y repetidos tan regularmente que podamos hacerlos responsables del fenómeno de los pulsares?

En el año de 1939 los físicos Robert J. Oppenheimer y George M. Volkoff publicaron un trabajo sobre las estrellas de neutrones. Desde el trabajo de estos dos físicos se sabe que la materia formada exclusivamente por neutrones, producto de la fusión de electrones y protones, puede constituir cuerpos estelares cohesionados por su propia gravedad. Estas estrellas de neutrones pueden calcularse teóricamente a partir de las propiedades de la

materia neutrónica. Los «modelos estelares» de las estrellas de neutrones demuestran que poseen una densidad muy elevada. En ellas la masa del sol comprimida estaría en una esfera de 30 kilómetros de diámetro, y un centímetro cúbico de estas estrellas contendría miles de millones de toneladas de materia neutrónica.

Uno de los procesos periódicos más regulares en el cielo es la rotación de los cuerpos celestes. El sol gira sobre su eje cada 27 días y hay estrellas que giran mucho más de prisa. Cabe pues la posibilidad de que el período de los pulsares tenga algo que ver con un proceso de rotación. En tal caso, el astro tendría que efectuar una rotación sobre su eje cada segundo, y en el caso del pulsar del Cangrejo debería efectuar treinta rotaciones por segundo. Pero una estrella no puede girar a cualquier velocidad, porque la fuerza centrífuga la despedazaría. Sólo pueden girar rápidamente sobre su eje las estrellas en cuya superficie la gravedad es muy intensa, y una «enana blanca»⁴ podría girar como máximo una vez por segundo. Si girarán con el período del pulsar del Cangrejo, la fuerza centrífuga la destruiría. Sólo pueden girar más de prisa las estrellas más densas.

Los astrofísicos consideran que la hipótesis del astrónomo Tommy Gold es la más razonable: los pulsares son estrellas de neutrones en rotación. En este caso, el progresivo alargamiento del período de los pulsares se explicaría por una disminución de la velocidad de giro de las estrellas de neutrones a lo largo del tiempo. Esto parece lógico, porque la energía que emite el pulsar en las frecuencias de radio y de luz visible podrían cubrirse con la energía de rotación de la estrella de neutrones. La radiación emitida bastaría por sí sola para frenar lentamente la estrella.

Se considera que una estrella de neutrones tiene un campo magnético parecido al de la tierra, pero mucho más intenso y que no tiene la dirección del eje de rotación, como tampoco lo tiene en la tierra. Si la estrella de neutrones gira, su campo magnético gira con ella. La explicación imaginada es más o menos la siguiente (ver figura 3.). En la superficie de la estrella de neutrones, magnética y en rotación, donde los neutrones se desintegran formando de nuevo electrones y protones, dominan intensas fuerzas eléctricas que proyectan al exterior las partículas cargadas de la estrella.

⁴ Enana Blanca. Son estrellas de tamaño inferior al del sol cuya temperatura superficial es mucho mayor que la de este, del orden de 20 000 grados, y tienen poca luminosidad.

Estas partículas vuelan por el espacio siguiendo las líneas del campo magnético, por tanto abandonan la estrella de neutrones preferentemente por sus polos magnéticos, y recorriendo las líneas curvadas de campo salen hacia el exterior a gran velocidad. Los electrones, las partículas más ligeras que abandonan la estrella, tienen la velocidad más alta, y probablemente se desplazan a velocidades próximas a la de la luz. Un electrón que recorre a tal velocidad una órbita curvada, emite energía. Esta energía no se reparte uniformemente en todas direcciones, sino que forma un haz estrecho en la dirección de vuelo de los electrones. Esto significa que la radiación abandona la estrella en la dirección a la que miran las líneas de fuerza magnética que salen de la estrella. O sea, que la radiación fluye hacia afuera confinada en dos volúmenes del espacio en forma de cono. El campo magnético sigue la rotación de la estrella, por tanto los dos conos radiantes también giran.

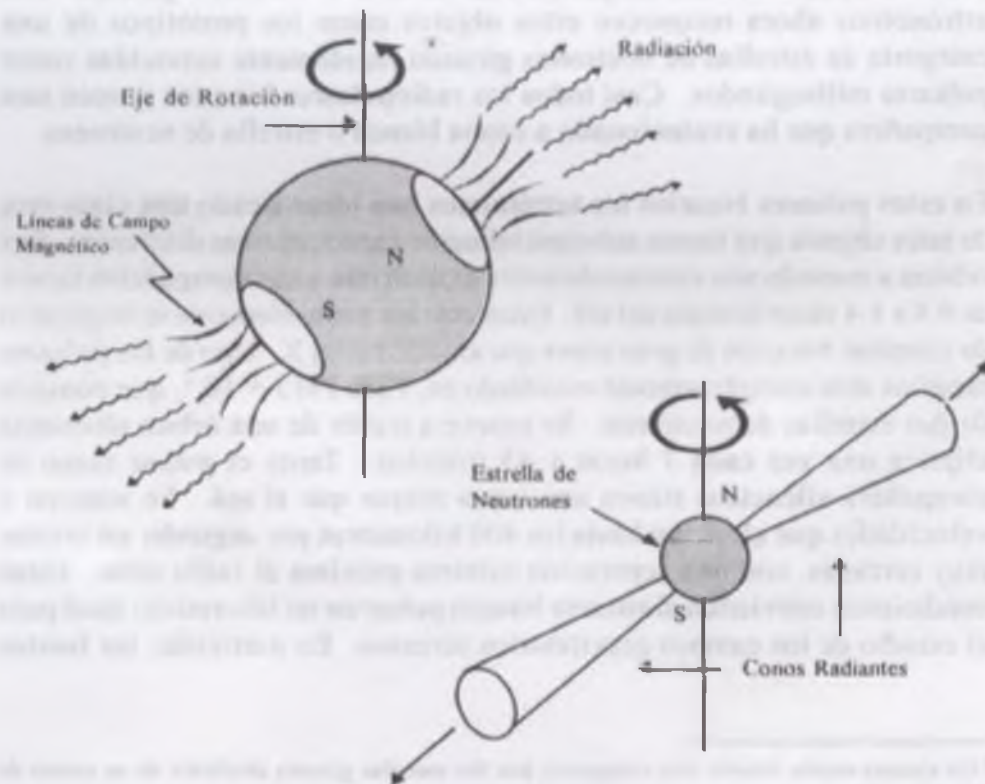


FIGURA 3.

Un observador alejado sólo capta radiación cuando sobre él pasa uno de los dos conos, y cree que la estrella de neutrones le está iluminando regularmente siguiendo el ritmo de su rotación. Según esta idea, que la mayoría de los astrofísicos considera más o menos correcta, la radiación que sale de la estrella en la dirección del polo del campo magnético nos ilumina como si fuera el haz rotativo de un faro.

En 1983, mientras trabajaba en el radiotelescopio de 300 metros en Arecibo, Puerto Rico, Valentin Boriakoff, y después en la Universidad Cornell, Rosalino Bucckeri del Consejo Nacional de Investigación en Palermo Italia, y Francesco Fauci de la Universidad de Palermo, descubrieron el pulsar de radio binario PSR 1953 + 29 ⁵. Donald C. Backer de la Universidad de California en Berkeley y sus colaboradores encontraron otro pulsar, PSR 1937 + 21, el cual tiene un período de solamente 1.6 milisegundos. Los astrónomos ahora reconocen estos objetos como los prototipos de una categoría de estrellas de neutrones girando rápidamente conocidas como pulsares milisegundos. Casi todos los radiopulsares binarios poseen una compañera que ha evolucionado a enana blanca o estrella de neutrones.

En estos pulsares binarios los astrónomos han identificado una clase rara de tales objetos que tienen substancialmente características diferentes. Sus órbitas a menudo son extremadamente excéntricas y sus compañeras tienen de 0.8 a 1.4 veces la masa del sol. Estos objetos probablemente se originaron de sistemas binarios de gran masa que emiten rayos X. Uno de los pulsares binarios más completamente estudiado es, PSR 1913 + 16 ⁶, que consiste de dos estrellas de neutrones. Se mueve a través de una órbita altamente elíptica una vez cada 7 horas y 45 minutos. Tanto el pulsar como su compañera silenciosa tienen una masa mayor que el sol. Se mueven a velocidades que alcanzan hasta los 400 kilómetros por segundo en órbitas muy cerradas, con una separación mínima próxima al radio solar. Estas condiciones convierten al sistema binario pulsar en un laboratorio ideal para el estudio de los campos gravitatorios intensos. En particular, las fuertes

⁵ Un sistema estelar binario está compuesto por dos estrellas girando alrededor de un centro de masa común

⁶ La designación indica que el pulsar radioemisor y su compañera radiosilenciosa de órbita están situadas en los mapas astronómicos del cielo a la ascensión recta de 19 horas 13 minutos y a la declinación de 16 grados, lo que sitúa al pulsar binario en la constelación del Aguila

aceleraciones experimentadas por el pulsar y su estrella compañera, inducidas gravitatoriamente, deben dar lugar a radiación gravitatoria. Se estima que este pulsar binario se encuentra a 15.000 años luz de distancia, muy lejano para observarlo ópticamente, ni siquiera con los telescopios más potentes.

En este sistema pulsar binario observamos una estrella de neutrones. La otra estrella de neutrones puede emitir o no radioondas, si lo hace, no parece que estén dirigidas hacia el sistema solar.

La radiación gravitatoria del pulsar binario halla su fuente de energía en el movimiento orbital. Por tanto, si existen ondas gravitatorias y toman energía del sistema binario, la energía orbital debe decrecer gradualmente, haciendo que el pulsar y su compañera giren cada vez más próximos entre sí y que el período orbital decrezca.

Como se conocen las masas y parámetros orbitales del sistema pulsar binario, empleando las ecuaciones de la relatividad general se puede calcular la intensidad exacta de la radiación gravitatoria que se espera exista y con ello, la velocidad precisa de contracción de la órbita y la disminución del período orbital. Se encuentra que la órbita debe contraerse 3,1 milímetros por vez y el período orbital debe disminuir en $6,7 \cdot 10^{-8}$ seg. No hay modo de detectar la contracción orbital, que alcanza 3,5 metros por año, sin embargo, es posible medir la disminución del período orbital porque da lugar a un corrimiento acumulativo en el tiempo del paso del periastro comparado

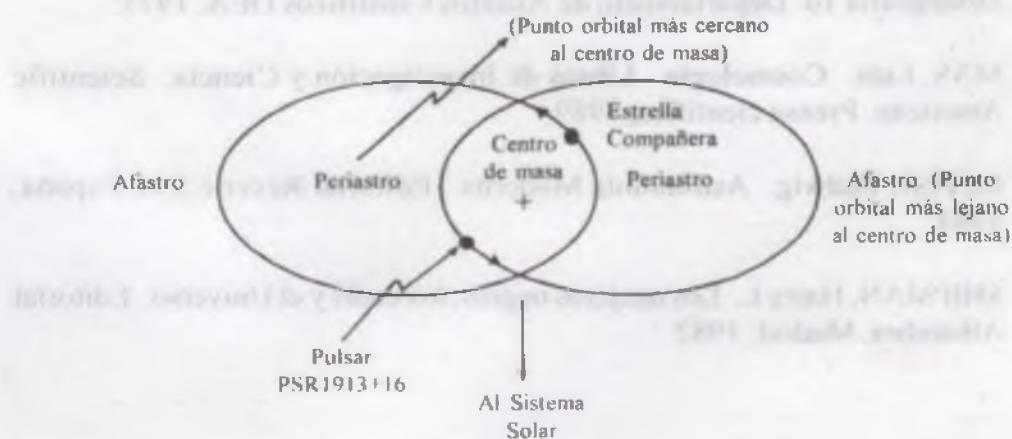


FIGURA 4

con un sistema hipotético cuyo periodo orbital permaneciera constante. Al final del año, el pulsar debe llegar al periastro 0.04 segundos más pronto, y después de seis años habrá de llegar con más de un segundo de adelanto.

Tras seis años de medida se ha encontrado que el pulsar binario está adelantándose en su órbita y que la aceleración se produce, con buena aproximación, al ritmo predicho por la relatividad general. Esta observación aporta la prueba más concluyente de la existencia de la radiación gravitatoria.

Bibliografía

CERNUSHI, Félix y CODINA, Sayd. Panorama de la astronomía moderna. Serie de física. Monografía 2. Departamento de Asuntos Científicos OEA, 1976.

COMAS, Solá José. Astronomía. Editorial Ramón Sopena S.A. Barcelona, 1976.

EDWARD P. J., Jan Van Paradijg. X-R Binaries. Artículo Scientific American. Noviembre 1993.

JASCHEK, Carlos y CORVALAN, Mercedes. Astrofísica. Serie de Física. Monografía 10. Departamento de Asuntos Científicos OEA, 1975.

MAS, Luis. Cosmología. Libros de Investigación y Ciencia. Scientific American. Prensa científica, 1989.

OSTER, Ludwig. Astronomía Moderna. Editorial Reverté S.A. España, 1984.

SHIPMAN, Harry L. Los agujeros negros, los cuars y el Universo. Editorial Alhambra, Madrid, 1982.